

寰枢椎后路侧块关节融合术操作规范 专家建议(2026 年版)

中国康复医学会脊柱专业委员会颈椎研究学组

通信作者:艾福志, Email: spine2000@126.com

【摘要】 寰枢椎后路侧块关节融合术是治疗寰枢椎脱位、颅底凹陷症、颅颈交界区畸形等疾病的重要外科技术,可有效改善神经症状,增加上颈椎生物力学稳定性及提高骨融合率。寰枢椎后路侧块关节融合术治疗颅颈交界区疾病的手术操作规范尚无指导性文件。为明确其手术适应证,规范寰枢椎后路侧块关节融合术的技术操作及并发症的处理,中国康复医学会脊柱专业委员会颈椎研究学组组织相关领域专家,基于循证医学证据并参考国内外最新研究进展,制订《寰枢椎后路侧块关节融合术操作规范专家建议(2026 年版)》。专家建议主要针对寰枢椎前脱位,系统阐述了寰枢椎后路侧块关节融合术中关节间隙及 C₂ 神经根的处理、植骨材料的选择、内固定的置入策略、寰枢椎的复位方式及椎动脉损伤、脊髓损伤、脑脊液漏、结构性植骨材料相关并发症、融合失败的处理方法,旨在规范寰枢椎后路侧块关节融合技术的临床应用,改善临床预后。

【关键词】 寰枢关节; 脊柱融合; 规范

【专家建议注册】 PREPARE-2026CN009

DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20250909-00793

Expert recommendations on technical guidelines for posterior atlantoaxial lateral mass arthrodesis (2026 edition)

Cervical Spine Research Group of the Spine Committee, Chinese Association of Rehabilitation Medicine

Corresponding author: Ai Fuzhi, Email: spine2000@126.com

【Abstract】 Posterior atlantoaxial lateral mass arthrodesis (PALMA) is a critical surgical technique for treating atlantoaxial dislocation, basilar invagination and craniovertebral junction (CVJ) anomalies. It effectively alleviates neurological symptoms, enhances biomechanical stability of the upper cervical spine, and improves the bony fusion rate. Currently, there is a lack of standardized guidelines on the surgical protocol for PALMA in managing CVJ diseases. To clarify its surgical indications, standardize the technical procedures and complication managements, the Cervical Spine Research Group of the Spine Committee under the Chinese Association of Rehabilitation Medicine organized a panel of experts. Based on evidence-based medicine and incorporating the latest domestic and international research advancements, the group has established the "Expert Recommendations on Technical Guidelines for Posterior Atlantoaxial Lateral Mass Arthrodesis (2026 edition)". Illustrated by the case of atlantoaxial anterior dislocation, the expert recommendations standardize key procedures of PALMA, including the management of the interarticular space and the C₂ nerve root, selection of bone grafting materials, strategies for internal fixation placement, and techniques for atlantoaxial reduction, guidance on complication managements such as vertebral artery injury, spinal cord injury, cerebrospinal fluid leakage, issues related to structural bone grafts, and fusion failure. The development of the recommendation aims to standardize the clinical application of PALMA technology and ultimately improve clinical outcomes.

【Key words】 Atlanto-axial joint; Spinal fusion; Benchmarking

【Expert advice registration】 PREPARE-2026CN009

DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20250909-00793

一、制订背景

寰枢椎后路侧块关节融合术是治疗寰枢椎脱位、颅底凹陷症、颅颈交界区畸形等疾病的重要外科技术。常用入路包括前路^[1]、前后联合入路^[2]和单纯后路^[3]。后路包括线缆技术^[4]、经关节突螺钉固定技术^[3]及 Goel-Harms 后路置钉技术^[5-6]等。后路技术通过在枕骨或寰椎后弓及枢椎椎板去皮质化后取自体髂骨进行植骨,实现寰枢椎融合。2004 年,Goel 等^[7]通过后路松解寰枢椎侧块关节,在去皮质处理后的关节间隙内植入自体髂骨或带孔金属

垫片进行关节间植骨,开创了寰枢椎后路侧块关节融合技术先河。随着手术技术和器械的不断改良,寰枢椎后路侧块关节融合技术已逐步应用于颅颈交界区疾病的治疗^[8]。

目前,寰枢椎后路侧块关节融合术治疗颅颈交界区疾病的手术操作规范尚无相关指导性文件。为明确其手术适应证,规范寰枢椎后路侧块关节融合术的技术操作及并发症的处理,中国康复医学会脊柱专业委员会颈椎研究学组组织相关领域专家,基于循证医学证据并参考国内外最新研究进展,制



订《寰枢椎后路侧块关节融合术操作规范专家建议(2026年版)》。本专家建议以寰枢椎前脱位为例,规范了寰枢椎后路侧块关节融合术中关节间隙处理、植骨材料选择、内固定置入策略、寰枢椎复位方式、改良术式的应用及C₂神经根处理,旨在规范寰枢椎后路侧块关节融合技术的临床应用。

二、手术目标

寰枢椎后路侧块关节融合术的目标是恢复侧块关节高度,改善应力,提高骨融合率,降低远期内置物失效风险。

三、手术适应证

寰枢椎后路侧块关节融合术可用于因先天畸形、外伤、退变、肿瘤、类风湿关节炎导致的寰枢椎脱位、颅底凹陷症(Goel A型)、颅颈交界区的侧后凸畸形和颅颈交界区的手术失败翻修等^[9-11]。

四、手术禁忌证

手术禁忌证为患全身感染未控制或手术区域存在活动性感染、严重出血倾向等局部或全身性合并症。以下情况应慎用寰枢椎后路侧块关节融合术:(1)严重骨质疏松;(2)寰椎前弓和(或)枕骨斜坡与齿突间、寰枢侧块关节有骨性融合;(3)寰枢关节陷入颅内、寰枢关节垂直绞锁或关节倾斜角度过大导致手术器械无法进入侧块关节间隙;(4)椎动脉解剖变异或骨性结构缺失导致无法安全置入内固定;(5)椎动脉遮挡侧块关节,影响关节内操作^[12]。

五、术前评估

(一)临床评估

术前通过病史采集、专科体格检查及影像学检查明确诊断,结合日本骨科协会(Japanese Orthopedic Association, JOA)评分、疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)及颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI)确定手术必要性。

(二)影像学评估

术前完善颈椎张口位、正侧位及动力位X线片(外伤或极度不稳定者除外)、颈椎薄层CT扫描及三维重建、头颈CT血管造影(CT angiography, CTA)、颈椎MRI,必要时摄站立位脊柱全长正侧位X线片。基于寰枢椎脱位、颅底凹陷症诊断及分型标准制定手术方案^[13-15]。根据颈椎CT及三维重建评估骨性结构异常、脱位程度、侧块关节形态等,通过CTA评估椎动脉变异是否对置钉及关节松解存在影响^[16-17]。MRI明确脊髓压迫部位及程度,预判复位后脊髓减压的效果。

六、手术操作以寰枢椎前脱位为例

(一)麻醉及体位

全身麻醉,通过牵引弓维持头颈部中立位纵向牵引,取标准反Trendelenburg位。术中维持大重量牵引,重量约为体重的1/6~1/5^[18],以减轻脱位程度、改善关节面对合关系;有效牵开关节间隙,便于术中进行松解、关节面处理及融合材料植入等操作。术中可使用神经电生理实时监测,提升手术安全性。

(二)手术切口及显露

取颈椎后正中入路,于骨膜下分离显露枕骨、寰椎后弓、枢椎椎板至侧块大部,保留颈半棘肌在C₂棘突的附着,切断头后大直肌及头下斜肌在枢椎棘突上的附着点(尽量于附着处切断,便于手术结束时将肌肉重新附着),避免损伤椎动脉^[5]。向两侧显露时沿头下斜肌与静脉丛之间的疏松组织间隙逐渐凝切后进入,直至外侧显露充分。显露过程中常可见较大隆起的静脉丛,如出现静脉丛破裂出血后使用双极电凝常无法有效止血时,通过止血材料进行压迫即可控制,应避免反复电凝,以免发生大量出血。行枕颈内固定术时向头端延长切口,进一步显露枕骨鳞部,显露过程中需注意避开位于枕外隆突旁2~3 cm处的枕大神经^[5,19]。

在熟练掌握传统入路后可开展微创入路,即后路经肌间隙入路寰枢椎侧块关节融合固定术。

(三)处理关节间隙和置入植骨材料

使用刮勺、神经剥离子沿枢椎椎弓峡部进行骨膜下分离,游离C₂神经根及静脉丛,关节内侧静脉丛可通过低功率双极电凝进行预处理,避免暴力操作导致静脉丛撕裂出血。C₂神经根无须显露,连同静脉丛一同牵开,向上推移可获得操作空间,若向上推移后仍存在遮挡,可切断C₂神经根后再进行关节间隙处理。如无法牵开时可使用双极电凝凝缩神经根周围静脉丛,显露神经根后切断。

探查寰枢椎关节面后缘及关节间隙,使用刮勺、骨刀或铰刀插入关节间隙并旋转,彻底刮除关节软骨,将不同高度的关节间撑开器插入关节间隙逐级撑开进行松解。当前方存在挛缩张力带时可在松解过程中适当对寰枢侧块进行撬拨,配合颅骨牵引复位;当关节间隙或关节前方存在骨性融合时,可沿关节间隙方向探查骨融合连接处,使用超声骨刀切断。操作过程中避免暴力,注意保护外侧椎动脉及内侧脊髓(图1)。完全松解后视情况选择植骨材料或植入融合器,植骨材料可使用局部采集(C₂椎板或C₁后弓)的颗粒骨或自体髂骨块。操作过程应注意

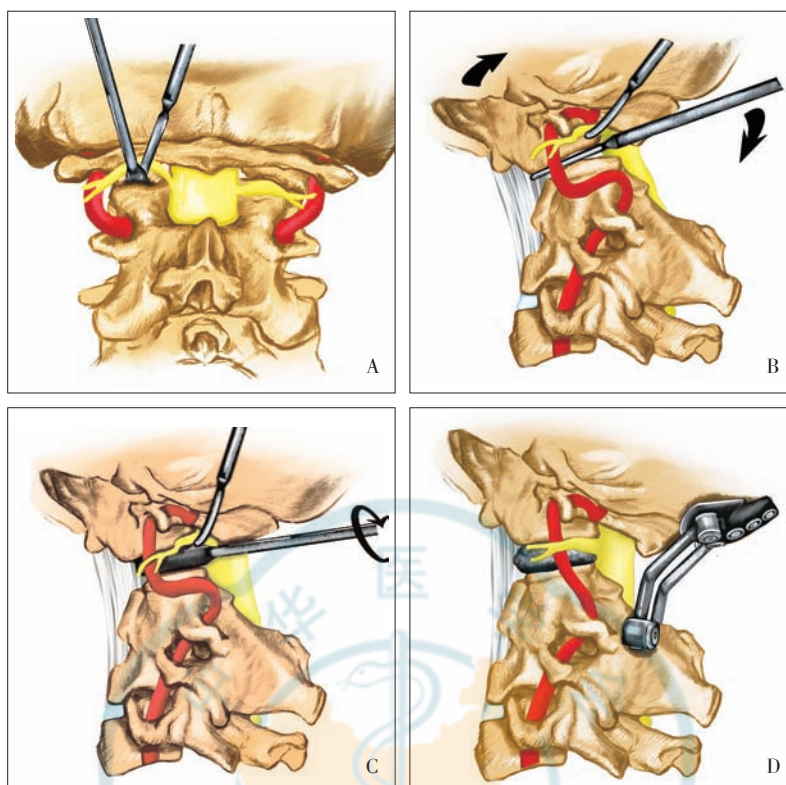


图1 寰枢椎后路侧块关节融合术操作示意图 A 牵开C₂神经根和静脉丛,侧块关节间隙内插入铰刀或关节撑开器 B 以枢椎上关节面后方为支点撬拨寰椎侧块,松解前方挛缩张力带 C 依次插入不同高度的关节间撑开器旋转撑开,逐级松解,并去除关节软骨 D 植入合适高度的融合器或植骨材料,完成寰枢椎复位和内固定

动作轻柔,避免破坏骨性关节面,如术中发现枢椎骨性关节面塌陷应停止操作,不可强行置入结构性植骨材料,以免导致术中椎动脉损伤或术后压迫,无法进行关节间植骨时应改行后方中线植骨^[20-21]。进行关节内操作时,若因牵拉导致静脉丛撕裂并引发大量出血时应迅速采用足量止血材料进行局部压迫,有效止血后再进行后续操作。

通常情况下,正常走行的椎动脉不会影响关节间松解及融合器植入。当椎动脉走行遮挡寰枢椎关节面时,为避免损伤椎动脉应谨慎操作,可使用刮勺或神经剥离子沿枢椎峡部将附着于上方的筋膜组织行骨膜下剥离松解,将椎动脉向头侧推移,显露侧块关节间隙后再进一步处理。

(四)内固定置入

1. 枢椎螺钉技术

枢椎螺钉包括椎弓根螺钉^[22]、关节突螺钉^[23]、峡部螺钉^[24-25]、椎板螺钉^[25-26]及“in-out-in”螺钉^[27-29]。当存在椎动脉高跨、先天发育畸形等导致枢椎椎弓根过于狭小无法保证安全置入椎弓根螺钉时,可视情况并结合术者技术成熟程度选择关节突螺钉、峡部螺钉、椎板螺钉或“in-out-in”螺钉进行

固定^[25,30-31]。关节突螺钉、峡部螺钉、椎板螺钉置入安全性高,但螺钉把持力较椎弓根螺钉差^[32],术中应尽可能保证置入至少一枚椎弓根螺钉,否则应向头下延长固定节段或术后辅助可靠外固定。“in-out-in”螺钉为多皮质固定,螺钉长度与椎弓根螺钉相近,螺钉力学性能好,但置入难度较高。

2. 寰椎螺钉技术

寰椎螺钉包括椎弓根螺钉^[33-35]、部分椎弓根螺钉^[36-37]及侧块螺钉^[37]。寰椎椎弓根螺钉具有良好的生物力学稳定性^[38],建议首选,但术前应仔细评估颈椎CT,如后弓发育极为细小或存在椎动脉沟环时推荐使用侧块螺钉技术。采用部分椎弓根或侧块螺钉技术时,可选用2/3螺纹螺钉或使用明胶海绵覆盖等措施,避免C₂神经根损伤。寰椎置钉过程中严格于骨膜下充分游离C_{1,2}静脉丛头侧与寰椎后弓间的软组织,充分显露建立安全操作空间,降低静脉丛撕裂风险。如遇出血,应立即采用止血材料压迫。

3. 枕骨固定技术

枕骨固定系统包括线棒系统^[39-40]、钉棒系统^[41]及钉板系统^[42]。目前最常使用的是钉板系统及钉棒系统,钉板系统中以倒“Y”形钛板及双弧形钛板

应用最广泛^[43]。枕骨螺钉应尽量使用双皮质固定以获得最佳的生物力学稳定性,操作时避免损伤深部硬脑膜及脑组织。螺钉长度个体差异较大,应根据术前颈椎 CT 及术中解剖情况决定。如患者存在枕骨缺失(先天性或后颅窝减压术后),可考虑使用枕骨髁螺钉^[44-45]或双侧钉棒进行固定。钉道制备过程中如脑脊液渗出可在钉道制备完毕后直接拧入螺钉封堵^[43,46]。

(五)寰枢椎复位

内固定置入后取合适长度连接棒,根据术前脱位程度弯棒,预留提拉落差后锁紧远端螺帽,通过按压 C₂ 椎体、使用复位钳或采用长尾钉等方法拧入头端螺帽进行提拉复位。透视下评估复位程度并视情况进行调整。需植入融合器者,如松解彻底、牵引状态下复位良好,可直接植入双侧融合器并拧入螺钉后复位;如复位欠佳,应在确保松解充分的前提下先使用内固定进行提拉复位,再植入双侧融合器后固定;对旋转脱位者应通过内固定矫正旋转脱位,恢复侧块关节正常对合关系后再植入融合器;冠状面不平衡者可采用单侧融合器或高度不对称的融合器予以矫正。

融合器尺寸应根据术前 CT 测量结果进行选择,植入方向为后外向前内,与侧块关节长轴方向一致,植入深度应保证融合器后缘与关节面后缘平齐且前方尽量不超过关节面前缘。

七、术后管理

(一)体位

术后配戴颈托(4~12 周)限制颈部活动,对严重骨质疏松患者应酌情使用头颈胸支具或 Halo 架外固定,轴线翻身,保持颈椎中立位,鼓励患者早期下床活动。

(二)随访

术后评估患者感觉、运动减退和感觉障碍平面有无变化,密切观察颈部有无肿胀、增粗,伤口敷料有无渗血渗液及引流量变化情况。如短时间内引流量过多且引流液呈鲜红色,应警惕活动性出血。如术后当日引流量少甚至无法引出,需警惕术后血肿并及时观察切口情况;引流液呈淡红色血性且引流量较大时应警惕术中未察觉的硬脊膜损伤或脑脊液漏。

(三)影像学评估

术后摄颈椎张口位、正侧位、动力位 X 线片、颈椎 CT 及三维重建及颈椎 MRI,评估复位程度、内固定位置、植骨及脊髓减压情况,并在术后 1、3、6、12

个月门诊复查。

(四)康复及功能锻炼

术后早期可指导患者行颈后方肌肉的等长收缩锻炼。如骨质良好、术中内固定可靠,可在术后 1 个月复查颈椎动力位 X 线片,确定内固定无松动后去除颈托并进行颈部功能锻炼;骨质疏松或内固定可靠性欠佳者应严格配戴颈托至术后 3 个月,植骨融合后可去除颈托,行颈部功能锻炼。如延迟愈合、复位丢失或内固定松动应根据实际情况延长颈托固定时间,必要时改为头颈胸支具或行翻修手术。

八、并发症处理

(一)椎动脉损伤

椎动脉损伤的处理方式包括溶栓、抗凝、开放修复及血管内介入治疗。急性椎动脉损伤可采用直接缝合^[47]、血管重建^[48]和血管内修复^[49]等治疗方式。术中出现椎动脉损伤时应及时压迫止血,并尽可能给予术中修补或吻合。颅颈交界区的椎动脉变异率较高,且周围骨性结构复杂,实际手术过程中通常难以直接缝合,此时应尽快完善椎动脉血管造影并进行血管内修复。对术中可疑损伤者应及时完善术后椎动脉造影,避免迟发性椎动脉破裂或形成血管瘤^[50]。

(二)脊髓损伤

术后如出现脊髓神经功能障碍加重应进行全面的神经系统查体,并与术前进行比较以判断脊髓损伤程度,及时完善颈椎 CT 及三维重建、颈椎 MR 检查。对影像学明确脊髓压迫者及时行手术减压,并给予脱水、激素、营养神经药物、高压氧等对症治疗,力争恢复脊髓功能。对寰枢节段椎管极度狭窄的病例,为避免脊髓损伤可先行 C₁ 后弓切除及 C₂ 椎板上减压,获得安全的操作空间。

(三)脑脊液漏

术中发现脑脊液渗漏可即刻缝合或使用硬脊膜修补材料封堵,严密缝合切口并放置引流。必要时留置腰大池引流管,确定切口及深部软组织愈合良好、无脑脊液渗漏后可拔除^[12,51]。对严重硬膜缺损及难以控制的脑脊液漏,腰大池引流无法控制者可考虑局部筋膜皮瓣或肌瓣填塞。

(四)结构性植骨材料相关并发症

结构性植骨材料相关并发症主要包括因尺寸选择不佳、植入方向或深度不理想导致的松动、关节面塌陷、椎动脉及脊髓受压等并发症。为避免这一类并发症,应在充分松解后结合术前 CT 测量选择合适尺寸的结构性植骨材料,术中透视如发现结构

植骨材料位置不佳者则及时进行调整。避免关节松解或结构性植骨材料植入过程中过深,导致咽后壁撕裂,降低关节间隙感染风险。一旦发生关节间隙感染,使用融合器者必要时需取出并进行积极的抗感染治疗,使用自体骨块者可在有效抗感染前提下密切观察病情变化。

(五)融合失败

融合失败常见原因主要包括感染、内固定失败(断裂或松动)、侧块关节面处理不佳。内固定失败多见于骨质疏松、内固定强度欠佳、松解不充分及通过内固定强行复位者。处理侧块关节面时应彻底去除关节软骨和瘢痕组织,以获得良好植骨床,注意避免侧块关节面塌陷。融合失败多伴随复位丢失、稳定性丧失及脊髓压迫,必要时应行翻修手术。

九、辅助新技术

应用导航、机器人等新技术辅助手术可缩短寰枢椎后路侧块关节融合术的学习曲线和手术风险^[52-54],应用显微镜手术可使术中操作更精细、减小医源性损伤^[55-57]。

利益冲突 所有参与编写专家建议的专家均声明不存在利益冲突

免责声明 本专家建议仅包括基于专家临床经验和文献证据的观测建议,不是制订医疗实践的唯一准则,不应被用作法规依据。专家建议所涉及的内容不承担医患双方及任何第三方依据本专家建议中的任何决定所产生的任何损失和赔偿责任

专家建议制订人员

指导专家组

袁文(海军军医大学第二附属医院脊柱外科)、夏虹(中国人民解放军南部战区总医院骨科)、高延征(河南省人民医院脊柱外科)、王圣林(北京大学第三医院脊柱外科)、艾福志(中山大学孙逸仙纪念医院脊柱外科)

编写专家组(以姓氏拼音排序)

昌耘冰(广东省人民医院脊柱外科)、陈华江(海军军医大学第二附属医院脊柱外科)、贺西京(西安国际医学中心医院骨科)、李方财(浙江大学医学院附属第二医院骨科)、李锋(华中科技大学同济医学院附属同济医院骨科)、刘浩(四川大学华西医院骨科)、刘晖(中国人民解放军联勤保障部队第909医院骨科)、刘鹏(陆军军医大学陆军特色医学中心脊柱外科)、陆声(云南省第一人民医院骨科)、马向阳(中国人民解放军南部战区总医院骨科)、倪斌(海军军医大学第二附属医院脊柱外科)、盛伟斌(新疆医科大学第一附属医院脊柱外科)、王冰(中南大学湘雅二医院脊柱外科)、王欢(中国医科大学附属盛京医院骨科)、王建华(中国人民解放军南部战区总医院骨科)、王林峰(河北医科大学第三医院骨科)、王向阳(温州医科大学附属第二医院脊柱外科)、闫景龙(哈尔滨医科大学附属第二医院骨科)、杨操(华中科技大学同济医学院附属协和医院骨科)、姚浩群(南昌大学第一附属医院脊柱外科)、朱庆三(吉林大学中日联谊医院骨

科)、朱泽章(南京大学医学院附属鼓楼医院骨科)

外审专家组(以姓氏拼音排序)

冯皓宇(山西白求恩医院骨科)、何达(首都医科大学附属北京积水潭医院脊柱外科)、刘新宇(山东大学齐鲁医院脊柱外科)、宋跃明(四川大学华西医院骨科)、谭明生(中日友好医院脊柱外科)、王征(中国人民解放军总医院脊柱外科)、杨强(天津市天津医院脊柱外科)、张海鸿(兰州大学第二医院骨科)、仇建国(中国医学科学院北京协和医院脊柱外科)

方法学专家

姚卫光(南方医科大学)

执笔

艾福志(中山大学孙逸仙纪念医院脊柱外科)、莫少东(中山大学孙逸仙纪念医院脊柱外科)

参 考 文 献

- [1] Yin Q, Ai F, Zhang K, et al. Irreducible anterior atlantoaxial dislocation: one-stage treatment with a transoral atlantoaxial reduction plate fixation and fusion. Report of 5 cases and review of the literature[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(13): E375-E381. DOI: 10.1097/01.brs.0000168374.84757.d5.
- [2] Wang C, Yan M, Zhou HT, et al. Open reduction of irreducible atlantoaxial dislocation by transoral anterior atlantoaxial release and posterior internal fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2006, 31(11): E306-E313. DOI: 10.1097/01.brs.0000217686.80327.e4.
- [3] Goel A, Laheri V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation[J]. Acta Neurochir (Wien), 1994, 129(1-2): 47-53. DOI: 10.1007/BF01400872.
- [4] Gallie WE. Skeletal traction in the treatment of fractures and dislocations of the cervical spine[J]. Ann Surg, 1937, 106(4): 770-776. DOI: 10.1097/0000658-193710000-00026.
- [5] Goel A, Laheri V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation[J]. Acta Neurochir (Wien), 1994, 129(1-2): 47-53. DOI: 10.1007/BF01400872.
- [6] Harms J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(22): 2467-2471. DOI: 10.1097/00007632-200111150-00014.
- [7] Goel A. Treatment of basilar invagination by atlantoaxial joint distraction and direct lateral mass fixation[J]. J Neurosurg Spine, 2004, 1(3): 281-286. DOI: 10.3171/spi.2004.1.3.0281.
- [8] Chen Z, Duan W, Chou D, et al. A Safe and effective posterior intra-articular distraction technique to treat congenital atlantoaxial dislocation associated with basilar invagination: case series and technical nuances[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2021, 20(4): 334-342. DOI: 10.1093/ons/opaa391.
- [9] Rapisarda A, Pennisi G, Montano N, et al. Atlantoaxial joint distraction and fusion with dtrax intra-articular cages: a cadaveric feasibility study and review of the pertinent literature[J]. World Neurosurg, 2022, 166: 153-158. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.07.077.
- [10] Jian Q, Hou Z, Zhao X, et al. Comparison of outcomes between 3D printed porous titanium alloy and polyetheretherketone cages



- for atlantoaxial intra-articular fusion in craniovertebral malformations[J]. *J Neurosurg Spine*, 2025, 43(3): 361-374. DOI: 10.3171/2025.3.SPINE241148.
- [11] Wu J, Li Y, Chu W, et al. Posterior release, reduction, and intra-articular fusion for irreducible type III atlantoaxial rotary fixation[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2025, 28(5): 627-633. DOI: 10.1227/ons.0000000000001347.
- [12] 中华医学会神经外科学分会脊髓脊柱学组, 中国颅颈交界区畸形研究联盟暨国家神经疾病医学中心颅颈交界区畸形联盟. 后路寰枢椎关节间撑开复位融合技术治疗寰枢椎脱位专家共识(2024)[J]. *中华外科杂志*, 2024, 62(8): 725-730. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20240508-00229.
- Spine and Spinal Cord Group in Neurosurgical Society of Chinese Medical Association; Chinese Craniovertebral Junction Malformation Research Alliance and Craniovertebral Junction Malformation Alliance of National Center for Neurological Disorders. Expert consensus on posterior facet distraction and fusion technique for the treatment of atlantoaxial dislocation(2024)[J]. *Chin J Surg*, 2024, 62(8): 725-730. DOI:10.3760/cma.j.cn112139-20240508-00229.
- [13] Goel A, Bhatjiwale M, Desai K. Basilar invagination: a study based on 190 surgically treated patients[J]. *J Neurosurg*, 1998, 88(6): 962-968. DOI: 10.3171/jns.1998.88.6.0962.
- [14] Xia Z, Duan W, Zhao X, et al. Computed tomography imaging study of basilar invagination and atlantoaxial dislocation[J]. *World Neurosurg*, 2018, 114: e501 - e507. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.03.016.
- [15] Xu J, Yin Q, Xia H, et al. New clinical classification system for atlantoaxial dislocation[J]. *Orthopedics*, 2013, 36(1): e95 - e100. DOI: 10.3928/01477447-20121217-25.
- [16] Wang J, Xia H, Ying Q, et al. An anatomic consideration of C2 vertebrae artery groove variation for individual screw implantation in axis[J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(7): 1547-1552. DOI: 10.1007/s00586-013-2779-4.
- [17] Byun CW, Lee D, Park S, et al. The association between atlantoaxial instability and anomalies of vertebral artery and axis[J]. *Spine J*, 2022, 22(2): 249-255. DOI: 10.1016/j.spinee.2021.08.014.
- [18] 中国寰枢椎脱位诊疗循证指南专家组, 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会. 中国寰枢椎脱位诊疗循证指南(2024)[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2024, 34(11): 1222-1232. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2024.11.15.
- Expert Group of the Chinese Evidence-Based Guideline for Atlantoaxial Dislocation, Spinal Cord Professional Committee of Chinese Association of Rehabilitation Medicine. Chinese evidence-based guidelines for diagnosis and treatment of atlantoaxial dislocation(2024)[J]. *Chinese Journal of Spine and Spinal Cord*, 2024, 34(11): 1222-1232. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2024.11.15.
- [19] Chen Z, Duan W, Chou D, et al. A safe and effective posterior intra-articular distraction technique to treat congenital atlantoaxial dislocation associated with basilar invagination: case series and technical nuances[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 20(4): 334-342. DOI: 10.1093/ons/opaa391.
- [20] Chandra PS, Kumar A, Chauhan A, et al. Distraction, compression, and extension reduction of basilar invagination and atlantoaxial dislocation: a novel pilot technique[J]. *Neurosurgery*, 2013, 72(6): 1040-1053. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31828bf342.
- [21] Zhu J, Wu J, Luo K, et al. Intraarticular bone grafting in atlantoaxial facet joints via a posterior approach: nonstructural or structural: a minimum 24-month follow-up[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 524. DOI: 10.1186/s13018-021-02630-z.
- [22] Xu R, Nadaud MC, Ebraheim NA, et al. Morphology of the second cervical vertebra and the posterior projection of the C2 pedicle axis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1995, 20(3): 259-263. DOI: 10.1097/00007632-199502000-00001.
- [23] Hou Z, Jian Q, Fan W, et al. Application of C2 subfacetal screws for the management of atlantoaxial dislocation in patients with Klippel-Feil syndrome characterized by a narrow C2 pedicle and high-riding vertebral artery[J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17(1): 495. DOI: 10.1186/s13018-022-03391-z.
- [24] Zhou S, Yuan B, Liu W, et al. Three-dimensional reduction method with a modified C2 isthmus screw in irreducible atlantoaxial dislocation: a technical note[J]. *BMC Surg*, 2021, 21(1): 324. DOI: 10.1186/s12893-021-01321-0.
- [25] Helgeson MD, Lehman RA, Dmitriev AE, et al. Accuracy of the freehand technique for 3 fixation methods in the C-2 vertebrae[J]. *Neurosurg Focus*, 2011, 31(4): E11. DOI: 10.3171/2011.6.FOCUS1167.
- [26] Wright NM. Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: case series and technical note[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2004, 17(2): 158-162. DOI: 10.1097/00024720-200404000-00014.
- [27] Xu P, Lin J, Xiao H, et al. Feasibility of C2 pedicle screw fixation with the "in-out-in" technique for patients with basilar invagination[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2024, 49(11): 798-804. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004757.
- [28] Du Y, Yin Y, Qiao G, et al. C2 medial pedicle screw: a novel "in-out-in" technique as an alternative option for posterior C2 fixation in cases with a narrow C2 isthmus[J]. *J Neurosurg Spine*, 2020, 33(3): 281-287. DOI: 10.3171/2020.2.SPINE191517.
- [29] Yan J, Qiu C, Qi L, et al. Transforaminal "in-out-in" screw technique for posterior C2 fixation in cases with a narrow C2 pedicle: anatomical considerations, technical notes, and preliminary clinical results[J]. *Asian Spine J*, 2025. DOI: 10.31616/asj.2025.0160. [published online ahead of print]
- [30] Davidson CT, Bergin PF, Varney ET, et al. Planning C2 pedicle screw placement with multiplanar reformatted cervical spine computed tomography[J]. *J Craniovertebr Junction Spine*, 2019, 10(1): 46-50. DOI: 10.4103/jcvjs.JCVJS_116_18.
- [31] Salunke P, Singh A, Karthigeyan M. Technique of C2 subfacetal screw in patients with high-riding vertebral artery[J]. *World Neurosurg*, 2020, 144: 59. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.08.045.
- [32] Dmitriev AE, Lehman RA, Helgeson MD, et al. Acute and long-term stability of atlantoaxial fixation methods: a biomechanical comparison of pars, pedicle, and intralaminar fixation in an intact and odontoid fracture model[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34



- (4): 365-370. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181976aa9.
- [33] Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomic suitability of the C1 - C2 complex for pedicle screw fixation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2002, 27(14): 1494 - 1498. DOI: 10.1097/00007632 - 200207150-00003.
- [34] Tan M, Wang H, Wang Y, et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(9): 888 - 895. DOI: 10.1097/01.BRS.0000058719.48596.CC.
- [35] Ebraheim NA, Xu R, Ahmad M, et al. The quantitative anatomy of the vertebral artery groove of the atlas and its relation to the posterior atlantoaxial approach[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1998, 23(3): 320-323. DOI: 10.1097/00007632-199802010-00007.
- [36] Ma X, Yin Q, Wu Z, et al. Anatomic considerations for the pedicle screw placement in the first cervical vertebra[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(13): 1519 - 1523. DOI: 10.1097/01.brs.0000168546.17788.49.
- [37] Joaquim AF, Ghizoni E, Rubino PA, et al. Lateral mass screw fixation of the atlas: surgical technique and anatomy[J]. World Neurosurg, 2010, 74(2-3): 359-362. DOI: 10.1016/j.wneu.2010.05.010.
- [38] Fensky F, Kueny RA, Sellenschloh K, et al. Biomechanical advantage of C1 pedicle screws over C1 lateral mass screws: a cadaveric study[J]. Eur Spine J, 2014, 23(4): 724 - 731. DOI: 10.1007/s00586-013-3143-4.
- [39] Sonntag VK, Dickman CA. Craniocervical stabilization[J]. Clin Neurosurg, 1993, 40: 243-272.
- [40] Ellis PM, Findlay JM. Craniocervical fusion with contoured Luque rod and autogeneic bone graft[J]. Can J Surg, 1994, 37(1): 50-54.
- [41] Nockels RP, Shaffrey CI, Kanter AS, et al. Occipitocervical fusion with rigid internal fixation: long-term follow-up data in 69 patients [J]. J Neurosurg Spine, 2007, 7(2): 117 - 123. DOI: 10.3171/SPI-07/08/117.
- [42] Lu DC, Roeser AC, Mummaneni VP, et al. Nuances of occipitocervical fixation[J]. Neurosurgery, 2010, 66(3 Suppl): 141-146. DOI: 10.1227/01.NEU.0000365744.54102.B9.
- [43] Mark Shasti, Ali Moshirfar, Jeffery L, et al. Occipitocervical fusion: a review and current concepts[J]. Seminars in Spine Surgery, 2020, 32(1): 100783. DOI:10.1016/j.semss.2019.100783.
- [44] Chakraborty AR, Pelargos PE, Milton CK, et al. Occipital condyle screw fixation after posterior decompression for Chiari malformation: technical report and application[J]. Surg Neurol Int, 2021, 12: 543. DOI: 10.25259/SNI_26_2021.
- [45] Bosco A, Aleem I, La Marca F. Occipital condyle screws: indications and technique[J]. J Spine Surg, 2020, 6(1): 156 - 163. DOI: 10.21037/jss.2020.03.01.
- [46] Joaquim AF, Osorio JA, Riew KD. Occipitocervical fixation: general considerations and surgical technique[J]. Global Spine J, 2020, 10(5): 647-656. DOI: 10.1177/2192568219877878.
- [47] Mwapitayi BP, Jeffery P, Beningfield SJ, et al. Management of extra-cranial vertebral artery injuries[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2004, 27(2): 157-162. DOI: 10.1016/j.ejvs.2003.11.008.
- [48] Molinari RW, Chimenti PC, Molinari R, et al. Vertebral artery injury during routine posterior cervical exposure: case reports and review of literature[J]. Global Spine J, 2015, 5(6): 528-532. DOI: 10.1055/s-0035-1566225.
- [49] Xiang S, Li G, He C, et al. Reconstructive endovascular treatment of the V4 segment of a vertebral artery dissecting aneurysm with the Willis covered stent: a retrospective study[J]. Interv Neuroradiol, 2019, 25(5): 548-555. DOI: 10.1177/1591019918824413.
- [50] Nam KH, Ko JK, Cha SH, et al. Endovascular treatment of acute intracranial vertebral artery dissection: long-term follow-up results of internal trapping and reconstructive treatment using coils and stents[J]. J Neurointerv Surg, 2015, 7(11): 829 - 834. DOI: 10.1136/neurintsurg-2014-011366.
- [51] 中国医师协会骨科医师分会. 脊柱手术硬脊膜破裂及术后脑脊液渗漏的循证临床诊疗中国医师协会骨科医师分会. 中国医师协会骨科医师分会骨科循证临床诊疗指南: 脊柱手术硬脊膜破裂及术后脑脊液渗漏的循证临床诊疗指南[J]. 中华外科杂志, 2017, 55(2): 1 - 4. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2017.02.002.
- Chinese Association of Orthopaedic Surgeons, Editorial Board of Evidence-Based Clinical Practice Guidelines for the Treatment of Dural Tears and the Consequent Cerebrospinal Fluid Leak During Spine Surgery. Evidence-based clinical practice guidelines for the treatment of dural tears and the consequent cerebrospinal fluid leak during spine surgery[J]. Chin J Surg, 2017, 55(2): 1-4. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2017.02.002.
- [52] Łajczak P, Łajczak A, Buczkowski S, et al. An early evaluation of robot-assisted and conventional techniques for posterior approach atlantoaxial displacement instrumentation - a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Rev, 2025, 48(1): 105. DOI: 10.1007/s10143-025-03256-z.
- [53] Gierse J, Mandelka E, Medrow A, et al. Comparison of iCT-based navigation and fluoroscopic-guidance for atlantoaxial screw placement in 78 patients with traumatic cervical spine injuries[J]. Eur Spine J, 2024, 33(6): 2304-2313. DOI: 10.1007/s00586-024-08232-7.
- [54] Haemmerli J, Ferdowsian K, Wessels L, et al. Comparison of intraoperative CT- and cone beam CT-based spinal navigation for the treatment of atlantoaxial instability[J]. Spine J, 2023, 23(12): 1799-1807. DOI: 10.1016/j.spinee.2023.08.010.
- [55] Jhawar SS, Nunez M, Pacca P, et al. Craniovertebral junction 360°: a combined microscopic and endoscopic anatomical study [J]. J Craniovertebr Junction Spine, 2016, 7(4): 204 - 216. DOI: 10.4103/0974-8237.193270.
- [56] Dusad T, Kundnani V, Dutta S, et al. Minimally invasive microscope-assisted stand-alone transarticular screw fixation without galle supplementation in the management of mobile atlantoaxial instability[J]. Asian Spine J, 2018, 12(4): 710 - 719. DOI: 10.31616/asj.2018.12.4.710.

(收稿日期: 2025-09-09)

(供稿: 王辰; 编辑: 王辰)

